



**UNIVERSIDAD
DE SALAMANCA**

MEMORIA DE RESULTADOS

Código del proyecto: ID2013/281

Metodología de integración de prácticas experimentales y virtuales en la enseñanza de la Electrónica en Ingenierías.

Responsable:

María Jesús Martín Martínez

Participantes:

Beatriz García Vasallo

Ignacio Iñiguez de la Torre Mulas

Raul Rengel Estévez

Departamento de Física Aplicada

Facultad de Ciencias de la Universidad de Salamanca

Plaza de la Merced S/N, 37008

25 de Junio de 2014

TÍTULO:

Metodología de integración de prácticas experimentales y virtuales en la enseñanza de la Electrónica en Ingenierías.

REFERENCIA: ID2013/281

PDI RESPONSABLE:

MARIA JESUS MARTIN MARTINEZ

CENTRO:

FACULTAD DE CIENCIAS Y ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ZAMORA.

MIEMBROS DEL EQUIPO:

MARÍA JESÚS MARTÍN MARTÍNEZ

BEATRIZ GARCÍA VASALLO

IGNACIO IÑIGUEZ DE LA TORRE MULAS

REUL RENGEL ESTEVEZ

DURACIÓN:

CURSO ACADÉMICO 2013/14

SUBVENCIÓN CONCEDIDA:

200 €

1. Objetivos y consideraciones

En el presente proyecto de investigación ID2013/281 comprende dos asignaturas de carácter básico de las titulaciones de Grado en Ingeniería Informática (Fundamentos Físicos) y Grado en Ingeniería Informática en Sistemas de Información (Física) impartidas en la Facultad de Ciencias y en la Escuela Politécnica Superior de Zamora (EPSZA), respectivamente, por profesorado del Área de Electrónica del Departamento de Física Aplicada. Ambas asignaturas son completamente análogas, tratan la misma materia (fundamentos físicos de la informática) y desarrollan idénticas competencias. En ambas asignaturas se hace especial hincapié en la formación del alumno en conceptos básicos de campos y ondas y electromagnetismo, teoría de circuitos eléctricos, principios físicos de los semiconductores, dispositivos electrónicos y optoelectrónicos y familias lógicas, todo ello sin perder de vista sus aplicaciones para la resolución de problemas propios de la ingeniería dentro de la electrónica de comunicaciones y de la información. Para los futuros graduados en Ingeniería Informática y en Ingeniería Informática de los Sistemas de Información resulta altamente interesante dominar estas materias por su implicación directa en diferentes aplicaciones de uso cotidiano en el mundo de hoy en día.

En dicho proyecto nuestro objetivo ha sido desarrollar una nueva estrategia docente teniendo en cuenta la experiencia, el tipo de alumno, los resultados y las dificultades detectadas en el desarrollo de los primeros cursos en el que se han impartido las asignaturas. Para ello hemos considerado esenciales las valoraciones de las encuestas realizadas a los alumnos por parte del profesorado a través de Moodle, así como los resultados de la encuesta realizada por la Comisión de calidad del Grado en Informática (tanto a los profesores como a los alumnos).

Nuestro principal objetivo en el presente proyecto de innovación e investigación educativa plantea el uso simultáneo y comparativo de la herramienta SPICE con el desarrollo de los circuitos reales en el laboratorio por parte del alumno.

Como resultado del presente proyecto, esperamos que estos aspectos sean claramente reforzados respecto a la docencia previa de estas asignaturas.

Nuestros objetivos de actuación concretos se dividían en los siguientes puntos:

- Modificar la programación de la asignatura de modo que posibilite utilizar dicha herramienta en las dos últimas prácticas de laboratorio.
- Realización de un tutorial de p-SPICE que está disponible en el moodle de modo que el alumno pueda adaptar su ritmo de aprendizaje.
- Utilizar el simulador para explicar los circuitos de forma más intuitiva, otorgándole al docente un mayor abanico de posibilidades y herramientas a la hora de presentar sus ideas y explicaciones.
- Aumentar la participación y el interés del alumnado.
- Facilitar que el alumno pueda realizar la práctica tantas veces como necesite desde casa o el aula de informática una vez que la ha realizado en el laboratorio de modo que podamos obtener un mejor rendimiento académico.
- Mayor implicación del alumno en el proceso de aprendizaje al tener que dibujar el esquema del circuito en el simulador, corregir errores, etc.
- Facilitar la transición entre la asignatura de Fundamentos Físicos y Física y las asignaturas de la materia Computadores englobadas en el mismo bloque formativo.

El uso de es la plataforma Studium de la USAL ha sido fundamental para asegurar el soporte de comunicación entre el alumno y el profesor fuera del horario lectivo, además de incorporar herramientas de evaluación y de permitir una óptima gestión del curso.

2. Desarrollo del proyecto

El desarrollo del proyecto ha tenido lugar principalmente durante el primer cuatrimestre del presente curso. En el momento de redactar esta memoria (junio de 2012), disponemos por tanto de los resultados correspondientes tanto a la 1ª y la 2ª convocatoria. En el grupo de la asignatura Fundamentos Físicos de la Facultad de Ciencias ha habido 107 matriculados, mientras que en la asignatura Física de la EPSZA ha habido 21 matriculados. Existen algunas diferencias en el planteamiento de cada asignatura debido sobre todo a esta diferencia en el número de alumnos.

INSTALACION DE SOFTWARE DE p-SPICE.

El software ha sido instalado en los ordenadores del laboratorio de Electrónica de la Facultad de Ciencias, sin embargo, en el caso de la EPSZ los puestos de trabajo no cuentan actualmente con un ordenador a disposición de cada grupo de alumnos, de manera que en este caso su uso ha estado supeditado a la disponibilidad de ordenadores portátiles por al menos uno de los componentes de cada grupo de prácticas (se buscó también el aprovechamiento de ordenadores portátiles eventualmente fuera de uso, pero no este punto no ha dado resultado). Previamente al desarrollo en el laboratorio, los alumnos debieron realizar un trabajo de instalación y primera visualización del software que en cualquier caso fue necesario para su trabajo posterior. El uso de ordenadores portátiles se desarrolló sin complicaciones adicionales.

RREALIZACION DE UN TUTORIAL DE p-SPICE para que que estuviera disponible en el moodle y facilitar al alumno la adaptación de su ritmo de aprendizaje. Este tutorial ha sido realizado durante el mes de septiembre y octubre de 2013, adaptando el mismo al nivel de conocimientos del alumno.

El tutorial muestra en primer lugar los tres pasos a seguir para la realización de una simulación de un circuito pSPICE (creación del circuito, configurar la simulación y visualizar los resultados). Además se comentan datos generales del programa, tales como se expresan los factores de escala de los diferentes valores de pSPICE (kilo, mili, giga, tera...).

Creación de un circuito: el tutorial se adentra en referenciar los diferentes pasos para la creación de un circuito: en la primera parte del tutorial como se arranca la aplicación de "Schematics" y se crea el circuito (como se realiza la adquisición de componentes, resistencias, etc), como se conectan los componentes y cómo se especifican los valores y los nombres de los mismos. Los diferentes componentes pueden ser resistencias, condensadores, transistores, fuentes de tensión, generadores de señal, etc.) y cómo se accede a ellos desde las diferentes partes del menú del programa (y como aparecen las diferentes ventanas emergentes de los componentes, tanto básica como avanzada).

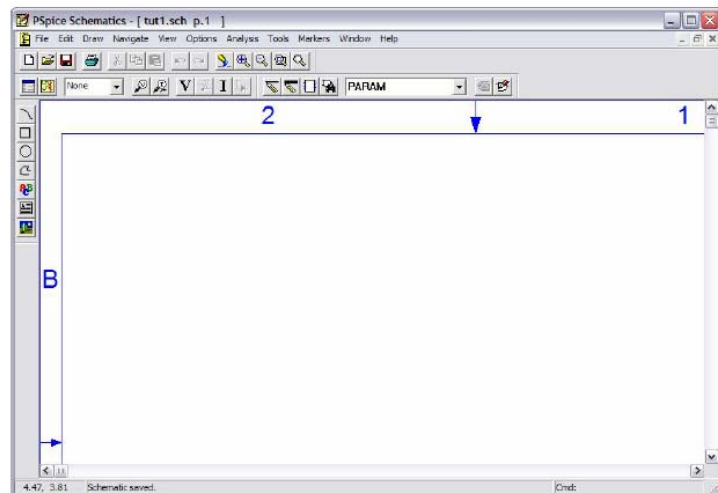


Fig. 1. Pantalla de Schematics al arrancar la aplicación

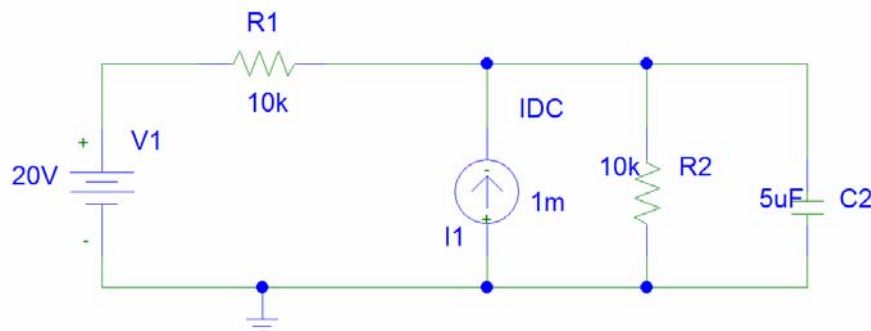


Fig. 2. Ejemplo del tutorial de p-SPICE donde se muestra un circuito de continua básico para ilustrar el proceso de simulación

Configuración de la simulación: En segundo lugar muestra al alumno los diferentes tipos de análisis de circuitos que se pueden realizar con dicho simulador. De este modo se le explica que según sea la configuración de la simulación se pueden realizar unos u otros.

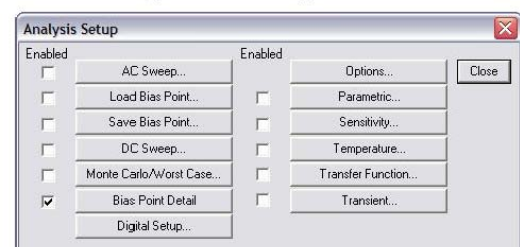
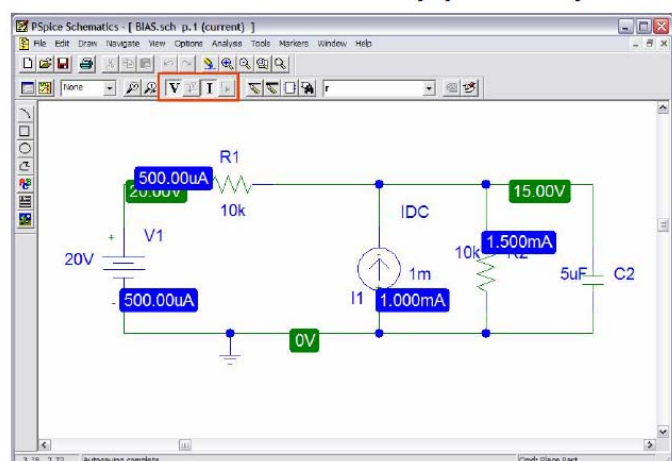


Fig. 3. Ventana de configuración de los análisis.

El primer tipo de análisis es el más sencillo y es el punto de polarización o de funcionamiento. (Bias Point Detail), que no tiene parámetros y nos permite mostrar resultados sobre el propio esquema como se muestra en la Fig. 4 mediante la utilización de los valores numéricos de Probe (actúa como si fuera un multímetro).

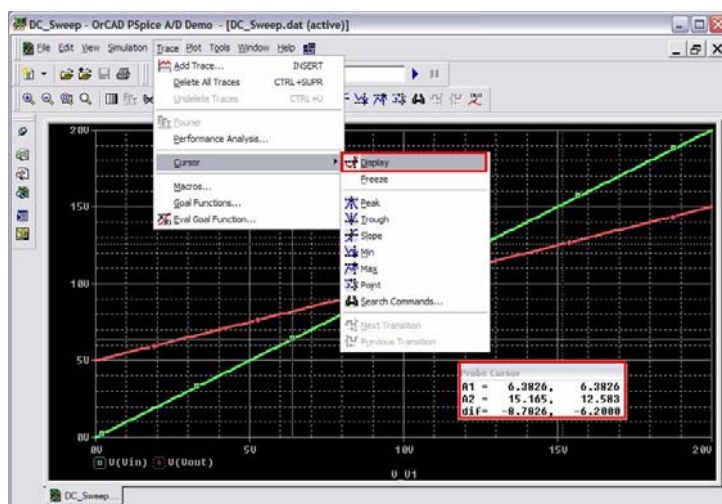
Fig. 4. Resultados del análisis DC sobre el propio circuito.



Una segunda opción del tipo de análisis puede ser un **DC Sweep** o barrido de continua (que es en realidad un análisis paramétrico de DC), o sea, un análisis para cada valor que toma un parámetro.

Fig. 5. Pantalla de salida de resultados del software p-SPICE

También es posible realizar simulaciones cuando las variables del circuito son variables en el tiempo (**Transient**), en este caso se debe definir tanto el tiempo final como los pasos temporales. Y por último, el simulador permite trabajar en barrido AC (**AC Sweep**). Es un estudio en el que se analiza la influencia sobre la amplitud y la fase de las señales cuando se cambia la frecuencia. La ventana de configuración de este análisis permite ajustar el rango de frecuencias en las que se va a analizar el circuito.



También es importante los aspectos básicos y específicos de las formas de ondas en SPICE como pueden ser: descripción general del análisis de las formas de onda, expresiones gráficas, etc.

ELABORACION DE LOS GUIONES DE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO y REALIZACION DE LAS NUEVAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO. Durante el mes de Octubre y Noviembre de 2013 hemos aplicado los conceptos expuestos en el tutorial SPICE, en particular dos ejemplos concretos de circuitos digitales. Esos dos ejemplos son las dos últimas prácticas de laboratorio que se realizaron durante el curso 2013-14 en la titulación de la Facultad de Ciencias una vez que se hubo explicado el cuarto y quinto bloque de la asignatura, correspondiente a la conmutación de dispositivos electrónicos y familias lógicas.

- Practica de Inversor lógico. Esta práctica de laboratorio (realizada con tecnología bipolar y con tecnología CMOS) está planificada para llevarse a cabo durante la primera quincena de diciembre.
- Practica de Familias lógicas básicas. Esta práctica tendrá lugar durante la última semana de docencia.

En el caso de la asignatura en la EPSZA ambos circuitos se llevaron a cabo en el tiempo destinado a una única práctica de laboratorio (y por tanto de forma más esquemática) por lo que la distribución de tiempos ha sido distinta, aunque conceptualmente la modificación ha sido la misma. Debido a esta limitación en el tiempo, ha sido imprescindible el trabajo previo de los alumnos de acuerdo con el seminario destinado al uso de PSpice. Tampoco este punto supuso ningún problema adicional.

A continuación se muestra el guión del laboratorio de la práctica nº 5: Inversor lógico (que es la nº 6 en el caso de la EPSZA). Tras la exposición teórica realizada por el profesor en el laboratorio, esta práctica ha contado con dos partes, una primera parte que los alumnos han implementado físicamente en el entrenador del laboratorio utilizando componentes (resistencias, transistores, etc.) reales y una segunda parte (tal y como se observa en las dos últimas páginas del guion) asociada a realizar una simulación análoga mediante el simulador p-SPICE, con el fin de que los alumnos puedan comprobar de primera mano la fiabilidad de la simulación.

El objetivo de esta práctica ha sido el de construir en el laboratorio, y con elementos discretos, inversores con dos tipos de transistores: BJT y MOSFETs. El alumno debe observar en el osciloscopio las características de transferencia de ambos inversores realizados con dichas tecnologías, ya que son las estructuras básicas sobre las que se realizan las familias lógicas integradas. En el entrenador real del laboratorio el alumno debe comparar los tiempos de paso a corte y de paso a conducción de los

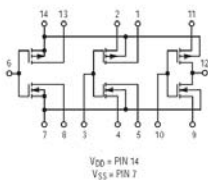
inversores realizados con ambas tecnologías y determinar aproximadamente hasta qué frecuencia, podrían funcionar ambos tipos de inversor.

1. **UNIVERSIDAD DE SALAMANCA** Facultad de Ciencias **UNIVERSIDAD DE SALAMANCA**

PRÁCTICA 5: Inversores Lógicos

El objetivo de esta práctica es construir en el laboratorio, y con elementos discretos inversores con dos tipos de transistores: BJT y MOSFETs. Observaremos las características de los inversores realizados con ambas tecnologías, ya que son las estructuras básicas sobre las que se realizan las familias lógicas integradas.

Para la realización de esta práctica utilizaremos transistores bipolares NPN (Q2N2222) y el bloque integrado de transistores MOS 4007 UB, cuyas asignaciones de pines se muestran en la Figura siguiente.



$V_{CC} = \text{PIN 14}$
 $V_{SS} = \text{PIN 7}$

Inversores

En los circuitos digitales, los dispositivos activos (transistores) trabajan entre dos estados bien diferenciados: Uno que llamamos de conducción (ON) y otro que denominamos de corte (OFF). De acuerdo con las señales digitales, transitan entre ellos en un proceso que conocemos como "conmutación". La estructura más

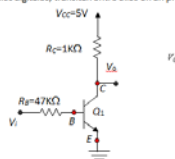
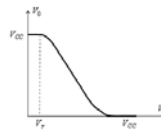



Figura 1: Inversor con BJT y su característica de transferencia

simple, con carácter digital y en tecnología bipolar es el inversor de la Figura 1. De acuerdo con los valores de la señal de entrada, V_i y V_o (5V y 0V, respectivamente), el transistor bipolar conmuta entre un estado de conducción, que puede ser saturado o no (Familias lógicas saturadas o no saturadas) a otro de corte. La característica de transferencia (V_o en función de V_i) de este inversor depende de la resistencia de colector ya que ella determina la pendiente en la conducción (o lo que es lo mismo, la ganancia del circuito cuando se usa como amplificador de señales analógicas).

Práctica 5 Inversores

2. **UNIVERSIDAD DE SALAMANCA** Facultad de Ciencias **UNIVERSIDAD DE SALAMANCA**

Sin embargo, el tipo de inversor más utilizado es el CMOS (básico en la tecnología de nuestros días), en el que se utilizan dos transistores MOSFET, uno canal N y otro canal P, Figura 2. Ambos transistores son activos y sólo conducen simultáneamente durante el proceso de conmutación (cuando la entrada ha superado el valor de la tensión umbral del transistor N (V_{in}) y no ha alcanzado V_{DD} (V_{DD}), para que se corte el transistor P). En este inversor la conmutación se hace en un rango de tensiones de entrada muy estrecho, lo que mejora su margen de ruido.

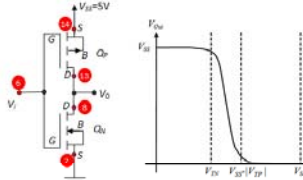
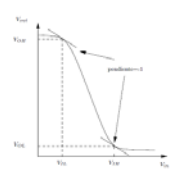


Figura 2: Inversor CMOS y su característica de transferencia

Parte A. Con el fin de observar las características de transferencia de ambos inversores en el osciloscopio, aplicaremos a la entrada V_i una señal sinusoidal por medio del generador de funciones, en el que ajustaremos el offset y la amplitud de la señal para que la tensión aplicada varíe entre 0 y 5 V y conectamos el CH1 del osciloscopio a la entrada V_i y el CH2 a la salida V_o , y se coloca la base de tiempos en posición X-Y.



Siguiendo el criterio de la Figura 3, estimar los valores de V_{DD} , V_{OL} , V_{OH} y V_{IL} de los inversores realizados con ambas tecnologías y comparar los márgenes de ruido, tanto en estado 0 ($M_0 = V_{OH} - V_{OL}$) como en estado 1 ($M_1 = V_{OH} - V_{OL}$).

Dado que la distribución de cargas en los transistores no es igual en el estado de conducción que en el de corte, se requiere un tiempo para acomodarse a la nueva situación, ya que las cargas no se mueven en un tiempo nulo. Este tiempo de conmutación está en la base de la rapidez de los circuitos lógicos. La velocidad de conmutación depende de muchos factores, pero en general podemos decir

Práctica 5 Inversores

3. **UNIVERSIDAD DE SALAMANCA** Facultad de Ciencias **UNIVERSIDAD DE SALAMANCA**

que la conmutación en los transistores MOSFET es, intrínsecamente, mucho más rápida que en los transistores bipolares.

Parte B. Paso de corte a conducción. En la Figura 4 se observa la forma de onda de la salida de un inversor cuando a la entrada se aplica una señal cuadrada. Comparar los tiempos de paso a corte y de paso a conducción de los inversores realizados con ambas tecnologías.

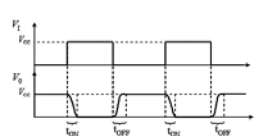
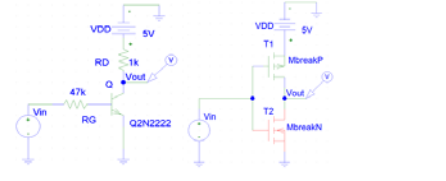


Figura 4

Indicar aproximadamente hasta qué frecuencia, podrían funcionar ambos tipos de inversor.

Parte C. Estudio de los inversores mediante simulación PSPICE

Realizamos el diseño en el simulador PSPICE de los inversores previamente montados usando un BJT 2N2222 y MOSFETs MBREKPN3 y MBREKPN3 que llevan cortocircuitados los terminales 5 y 8.



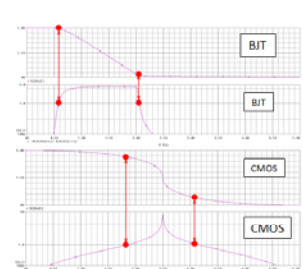
En el inversor CMOS asignar a los dos transistores (tipo P y tipo N) valores iguales para sus dimensiones: $L=1\mu m$, y $W=10\mu m$ para hacer así que sean idénticos (los modelos usados para ambos tienen por defecto el mismo valor para la movilidad y capacidad del óxido). Inicialmente, dado que no hemos modificado el Modelo del transistor en **Edit → Model → Edit Instance Model** ambos transistores tienen $V_{th}=0V$.

Debemos hacer un DC Sweep de la tensión de entrada en la puerta de los transistores ($V_{in}=V_{DD}$ de 0V hasta +5V) y representamos la tensión a la salida (conectada al colector del BJT y al drenador de los transistores en el CMOS) en función de V_{in} .

Práctica 5 Inversores

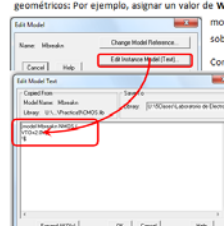
4. **UNIVERSIDAD DE SALAMANCA** Facultad de Ciencias **UNIVERSIDAD DE SALAMANCA**

Representaremos también la pendiente de la característica de transferencia $V_{out}=f(V_{in})$ usando el operador derivada D() [es útil representar en escala logarítmica el valor $-D(V_{out})/D(V_{in})$], lo que nos permitirá localizar los puntos que tomaremos como referencia para el cálculo de los márgenes de ruido y nos dará una idea más clara de la rapidez de la variación de la salida en función de la entrada.



Añadir un plot que represente la potencia consumida (y/o la corriente que circula por ambos inversores) y observar que mientras en el inversor realizado con el BJT la corriente es grande cuando la entrada toma valor "1", en el CMOS sólo fluye corriente durante la conmutación, ya que tanto para entrada "0" como para "1" hay uno de los dos MOSFETs que no conduce.

En el inversor CMOS (obtenemos una característica de transferencia de voltaje totalmente simétrica porque los transistores son iguales). Podemos modificar parámetros geométricos: Por ejemplo, asignar un valor de $W=10\mu m$ al MOSFET canal N (simulando así el mayor valor de la movilidad de los electrones y observar el efecto que esto tiene sobre la característica de transferencia $V_{out}=f(V_{in})$).



Con **Edit → Model → Edit Instance Model** se puede modificar el modelo de los dos transistores para añadir valores de tensión umbral diferentes de 0. Probar a introducir $V_{th}=+1V$ y $V_{th}=-1V$ y posteriormente $V_{th}=+2V$ y $V_{th}=-2V$. Estudiar el efecto que tiene en la característica de transferencia (simetría, pendiente en la región central, potencia disipada y márgenes de ruido)

1. Los valores de las tensiones umbral de los transistores
2. La asimetría en las dimensiones de ambos

¿Cuál es la situación óptima?

Práctica 5 Inversores

Fig. 6. Guion de práctica 5

Una vez realizada la simulación real se procedió a realizar el diseño en el simulador PSPICE de los inversores previamente montados. El guion de la práctica contiene el circuito a implementar como el que se muestra en la siguiente figura. Se puede observar el circuito implementado en el simulador PSPICE para el inversor BJT (izquierda) y CMOS (derecha) una vez nombrados los componentes y con sus

valores adecuados accediendo al Editor de Propiedades de cada componente. El siguiente paso a la hora de preparar el circuito, es proceder con el análisis del mismo y realizar la simulación del circuito. Para ello, en el guion aparecen de manera específica la orden correspondiente y para representar las formas de onda de las variables circuitales relevantes.

PRÁCTICA 6
Puertas Lógicas e Implementación de Funciones Lógicas

En la práctica anterior estudiamos las características de los inversores realizados con tecnologías bipolar y CMOS. Estos circuitos constituyen las estructuras básicas sobre las que se realizan las familias lógicas integradas. El objetivo de esta práctica Nº 6 es construir puertas lógicas simples en el laboratorio y mediante el simulador P-SPICE utilizando transistores bipolares NPN Q2N2222. Posteriormente trabajaremos con los Circuitos Integrados de la serie 4000 CMOS para llegar a montar circuitos básicos que realizan operaciones lógicas sencillas.

Primera parte: Puertas Lógicas con P-SPICE

Analizada la puerta lógica NOR en el entrenador es muy sencillo realizar su implementación en SPICE. Para ello necesitamos los mismos componentes que hemos utilizado en el laboratorio:

- VDC de continua para polarización de colector (librería source.sib).
- 2 Transistores Q2N2222 (librería breakout.sib).
- Resistencias de 47 K y 1 K (librería analog.sib).
- Fuentes de continua (VDC) para aplicar a la entrada (base) de los transistores tensiones altas (5 V) o bajas (0 V).

En este caso realizaremos un análisis DC, variando las tensiones que aplicamos en las fuentes de tensión DC conectadas a las bases (entradas A y B) para obtener la tabla de verdad de una puerta lógica NOR de dos entradas (Figura 1). Mostraremos mediante el **Voltage Display** del menú superior los voltajes de los nodos de interés.

Montaremos también una puerta NAND de 2 entradas, conectando en este caso los dos transistores bipolares en serie (Figura 2). Efectuaremos el mismo tipo de análisis que en el caso anterior.

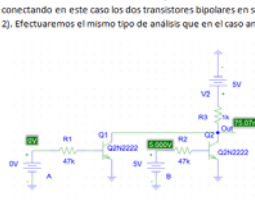
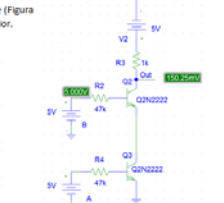



Figura 1. Puerta NOR con transistores bipolares

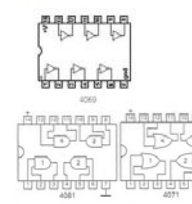
Figura 2. Puerta NAND con transistores bipolares

Práctica 6 Puertas lógicas y funciones lógicas.

Segunda parte: Puertas Lógicas integradas

La serie 4000 de circuitos integrados CMOS es muy popular y consta, entre otros, de los modelos mostrados en la siguiente relación:

A continuación vamos a comprobar la tabla de verdad de algunas de las puertas integradas de la familia 4000 siguientes (NOT, AND, OR, NAND y NOR de dos entradas).

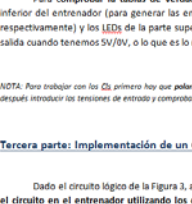


Para comprobar la tabla de verdad utilizaremos los interruptores de entrada situados en la parte inferior del entrenador (para generar las entradas, 0V y 5V, correspondientes a los valores binarios "0" y "1" respectivamente) y los LEDs de la parte superior (cuya situación encendido/apagado nos presenta el valor de la salida cuando tenemos 5V/0V, o lo que es lo mismo "1"/"0").

NOTA: Para trabajar con los CIs primero hay que polarizarlos, es decir aplicarles la fuente de alimentación 5V al pin 14 y 0V al pin 7, y después introducir las tensiones de entrada y comprobar la salida a que dan lugar.

Tercera parte: Implementación de un Circuito Combinacional con Puertas Lógicas Integradas

Dado el circuito lógico de la Figura 3, analizar la función que realiza y obtener su tabla de verdad. Montar el circuito en el entrenador utilizando los circuitos integrados de la familia 4000 estudiados en el apartado anterior haciendo de nuevo uso de los interruptores de entrada y salidas a los LEDs de la parte superior para comprobar su correcto funcionamiento.



Práctica 6 Puertas lógicas y funciones lógicas.

Cuarta Parte: Circuito Semisumador con P-SPICE

Un semisumador es el circuito sumador más simple y su diagrama de bloques y tabla de verdad se indican en la Figura 4.

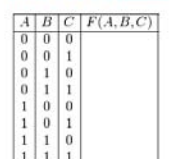


Figura 4

Un posible circuito combinacional es el que se muestra en la Figura 5 (realizado con puertas NAND de dos entradas, 7400), que posee dos entradas (A y B) y dos salidas (S, suma y C, acarreo).

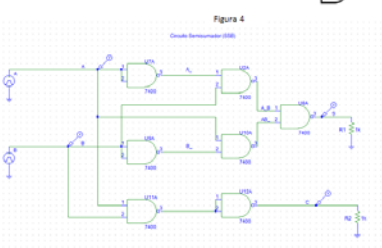


Figura 5

NOTA: las puertas lógicas 7400 (NAND de 2 entradas) podemos encontrarlas en la librería eval.sib.

A la hora de proporcionar al circuito las diferentes combinaciones de entradas (A y B) podemos utilizar en SPICE varios tipos de estímulos. Lo más normal cuando se diseñan circuitos digitales de mayor complejidad es utilizar fuentes de estímulo digitalizadas que provee SPICE (para evitar problemas de convergencia). Sin embargo, hemos

Práctica 6 Puertas lógicas y funciones lógicas.

considerado más didáctico utilizar generadores de onda cuadrada por lo que vamos a utilizar dos trenes de pulsos (señales cuadradas del tipo VPULSE) de manera que uno tenga el doble periodo que el otro para obtener todas las combinaciones de las entradas A y B. Estableceremos las siguientes características:

Entrada VPULSE A

- V1 y V2 son los dos valores de tensión alta y baja (utilizaremos 0 y 5 voltios).
- TR y TF son los tiempos de subida y bajada. En realidad son del orden de ns, pero supondremos fuentes cuadradas ideales y por tanto pondremos estos tiempos a cero, NO DEJANDO EN NINGUN CASO LOS CAMPOS SIN COMPLETAR.
- PW=2 s (ciclo de servicio, tiempo que la señal está en tensión alta, sin contar con tiempos de subida y bajada)
- PER=4 s. Periodo total.


Entrada VPULSE B

- PW=1 s
- PER=2 s.
- Resto de los valores idénticos a la fuente A.

Vamos a realizar un tipo de análisis en el dominio del tiempo. Por tanto en el **ANALISIS SETUP** debemos seleccionar **Transient**. Para que nuestro circuito funcione correctamente hay que recordar algunos puntos fundamentales:

- En **Transient** los valores seleccionados (tiempo, frecuencia...) deben ser acordes con el diseño del circuito. Por ejemplo si una fuente tiene una frecuencia de 10 Hz, el valor del tiempo en el análisis transitorio (**Transient**) ha de comprender al menos un periodo completo, esto es 1/10 Hz segundos=0.1 s.

Las formas de onda (independientemente de que puede surgir algún problema de convergencia) tienen que mostrar de manera adecuada la tabla de verdad del circuito combinacional.



Práctica 6 Puertas lógicas y funciones lógicas.


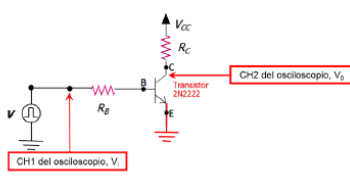

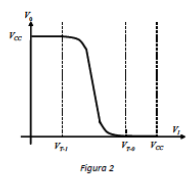
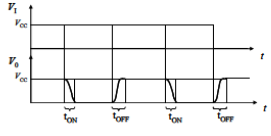
Fig. 7. Guion de práctica 6

Mostramos también el guion del laboratorio de la práctica nº 6 (Fig. 7): Familias lógicas básicas. En este caso se plantea de manera contraria a la práctica anterior, implementando inicialmente una puerta lógica

mediante p-SPICE para posteriormente realizar una segunda parte utilizando las puertas lógicas integradas en el entrenador y finalizando con un ejercicio más completo (circuito combinacional semisumador con p-SPICE) que va a posibilitar al alumnado realizar una transición fácil entre la asignatura de Fundamentos Físicos y Física y las asignaturas de la materia Computadores englobadas en el mismo bloque formativo.

En el caso de la EPSZA, el guión empleado para la práctica 6: Retardos en inversores y puertas lógicas, es más esquemático, pero aborda similar información conjugando resultados del simulador con los que se deben analizar directamente desde el circuito implementado en el laboratorio (Fig. 8). Hemos de señalar que la diferente planificación docente en cuanto a temporalización es diferente (aunque similar) que en la asignatura de la Facultad de Ciencias, en el estudio de puertas lógicas basadas en tecnología CMOS la principal diferencia es la asignatura que los alumnos tienen en el segundo cuatrimestre, Arquitectura de Computadores I, que en la EPSZA es responsabilidad del Área de Electrónica, en la que se abordan principalmente circuitos combinacionales y secuenciales. El punto de partida para esta asignatura es el conocimiento que los alumnos tienen de Física, que acaba con un tema dedicado a las familias lógicas. De esta manera, en el laboratorio en Física se ven circuitos desde el punto de vista de componentes discretos, mientras que en la asignatura siguiente en todas las prácticas trabajan con circuitos integrados.

Además de la detallada explicación en las clases de teoría (incluyendo los conceptos que se pretenden aprender en la propia práctica), el pequeño número de alumnos que hay matriculados en esta asignatura en relación con el que existe en la Facultad de Ciencias permite además que los guiones sean más esquemáticos. Recordemos asimismo que cuando los alumnos abordan la práctica ya han recibido el seminario de p-SPICE.

<div style="text-align: center;">  <p>UNIVERSIDAD ISMA-PANCA</p> </div> <p>Práctica de Laboratorio nº 6 Retardos en Inversores y Puertas Lógicas</p> <p>Objetivo</p> <p>El objetivo de esta práctica es comprobar el funcionamiento de una etapa inversora y de una puerta lógica, así como la medida experimental del tiempo de retardo.</p> <p>Realización de la práctica</p> <p>En esta práctica se utilizan elementos discretos, en particular, el transistor BJT de tipo n-p-n Q2N2222.</p> <p>1. Retardos en inversores</p> <p>En los circuitos digitales, los dispositivos activos (transistores) trabajan entre dos estados bien diferenciados: uno que llamamos de conducción (ON) y otro que denominamos de corte (OFF). De acuerdo con las señales digitales, transitan entre ellos en un proceso que conocemos como "conmutación". Se trata de implementar el circuito de la Figura 1 empleando una de las fuentes de alimentación del entrenador, con $V_{CC}=5\text{ V}$, $R_C=1\text{ k}\Omega$, $R_B=47\text{ k}\Omega$. La señal de entrada será una señal cuadrada de 80 KHz que tome valores entre 0 y 5 V. Se puede usar la señal TTL que proporciona el entrenador.</p> <p>De acuerdo con los valores de la señal de entrada, V_{in} y V_i (5V y 0V, respectivamente), el transistor bipolar conmuta entre un estado de conducción, que puede ser saturado o no (Familias Lógicas Saturadas o no Saturadas) a otro de corte. La característica de transferencia (V_o en fun-</p> <div style="text-align: center;">  <p>Figura 1</p> </div> <p style="text-align: center;">- 1 -</p>	<div style="text-align: center;">  <p>UNIVERSIDAD ISMA-PANCA</p> </div> <p>ción de V_o mostrada en la Figura 2) de este inversor depende de la resistencia de colector, ya que ella determina la pendiente en la conmutación (o lo que es lo mismo, la ganancia del circuito cuando se usa como amplificador de señales analógicas). A partir de este circuito:</p> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;"> <p>a) Observar la inversión de la señal de entrada que introduce el este circuito y los valores que toma V_o para diferentes amplitudes de la señal de entrada.</p> <p>b) Estimar el tiempo de retardo de subida y de bajada que introduce el circuito en la salida. En la Figura 3 se observa la forma de onda de la salida de un inversor cuando a la entrada se aplica una señal cuadrada. Comparar los tiempos de paso a corte y de paso a conducción de los inversores realizados con ambas tecnologías. Para ello se ha de manipular la escala de tiempos en el osciloscopio con el fin de visualizar adecuadamente estos tiempos.</p> </div> <div style="flex: 1; text-align: center;">  <p>Figura 2</p> </div> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Figura 3</p> </div> <p>c) Aplicar una señal sinusoidal en la entrada (V_i) que siempre tome valores positivos en la entrada. Para aplicar dicha señal sinusoidal se emplea el generador de funciones, en el que se debe ajustar el offset y la amplitud de la señal para que la tensión aplicada varíe entre 0 y 5 V. Posteriormente se conecta el CH1 del osciloscopio a la entrada V_i y el CH2 a la salida V_o y se coloca la base de tiempos en posición X-Y. En el modo X-Y del osciloscopio, podemos visualizar la característica de transferencia (V_o en función de V_i).</p> <p style="text-align: center;">- 2 -</p>
---	--

Se debe estimar los valores de V_{OH} , V_{OL} , V_{IH} y V_{IL} del inversor y su márgenes de ruido, tanto en estado 0 ($M_{N0}=V_{IL}-V_{OL}$) como en estado 1 ($M_{N1}=V_{OH}-V_{IH}$).

2. Retardo en puertas lógicas

Montar el circuito de la Figura 4 poniendo como entradas los interruptores del entrenador (que proporcionan una señal de 5 V), con $V_{CC}=5$ V, $R_C=1$ k Ω , $R_B=47$ k Ω . Llevar la salida a uno de los LEDs del entrenador (las referencias de estos interruptores deben estar unidas a la referencia del circuito). A partir del circuito implementado:

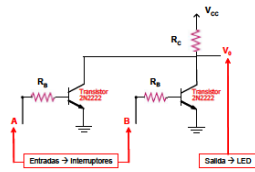


Figura 4

- Comprobar la operación lógica que realiza la puerta lógica de la figura.
- Adicionalmente: aplicar una señal cuadrada de 80 kHz que siempre tome valores positivos en el terminal de entrada A y dejar que B siempre esté en estado "0" lógico. Llevar la señal de A al canal 1 del osciloscopio, y la señal de salida al canal 2. Estimar el tiempo de retardo de subida y bajada de la salida con respecto a la señal de entrada.

- 3 -

2ª PARTE

Estudio de los inversores mediante simulación PSPICE

Objetivo

El objetivo de esta parte de la práctica es profundizar en el estudio del inversor más sencillo basado en un BJT. Asimismo, se adquirirá soltura en el empleo del simulador PSPICE para el estudio de circuitos digitales.

Realización de la simulación

A partir de la implementación del inversor en el laboratorio (con $V_{CC}=5$ V, $R_C=1$ k Ω , $R_B=47$ k Ω). La señal de entrada será una señal cuadrada de 80 kHz que tome valores entre 0 y 5 V, realizado con un BJT de tipo n-p-n Q2N2222, y teniendo en cuenta la característica genérica mostrada en la Figura 4, se realizará la simulación de dicho inversor.

Se debe hacer un DC Sweep de la tensión de entrada en la puerta de los transistores (V_{in} de 0V hasta +5V) y representar la tensión a la salida (conectada al colector del BJT en el caso del inversor) en función de V_{in} .

Se representará también la pendiente de la característica de transferencia $V_{out}(V_{in})$ usando el operador derivada $D()$ [es útil representar preferiblemente en escala logarítmica el valor $-D(V_{out})/D(V_{in})$], lo que nos permitirá localizar los puntos que tomaremos como referencia para el cálculo de los márgenes de ruido tal y como están definidos en la Figura 4 y nos dará una idea más clara de la rapidez de la variación de la salida en función de la entrada.

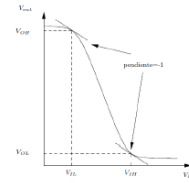


Figura 4

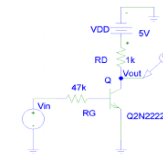


Figura 5

- 4 -

Añadir un plot que represente la potencia consumida (y/o la corriente que circula a través del inversor) y observar que la corriente es grande cuando la entrada toma valor "1". En la Figura 5 se observa el resultado de esta simulación.

Como resultado de las simulaciones PSPICE se entregará un breve informe en el que se realice la comparación entre los márgenes de ruido calculados en comparación con los obtenidos experimentalmente.

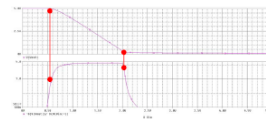


Figura 5

NOTA:

- Para añadir componentes en el esquema: Draw/get new part; es posible editar (Edit) los atributos de cada componente y/o rotarlo.
- Para realizar un DC-Sweep: Analysis setup; posteriormente se simula con Simulate (F11).
- Para añadir trazas: Add traces.

- 5 -

Fig. 8. Guión de la práctica 6 (EPSZA)

ENCUESTA DE SATISFACCION DEL ALUMNADO

En el Proyecto de Innovación educativa se planteaba también la elaboración de encuestas de satisfacción de los estudiantes con la asignatura en general y las relacionadas con este proyecto de Innovación Educativa. Esta encuesta ha constado de 32 preguntas en las que se hace referencia a diferentes temas (planificación de la asignatura, peso de las partes de teoría o de los problemas, realización de las prácticas, evaluación de las diferentes actividades, etc.). En particular, y en el caso que nos ocupa, hemos incluido preguntas en el cuestionario (desde la 11 hasta la 17) relacionadas con el objetivo de este proyecto de Innovación docente tal y como se muestra a continuación.

•11 Este año por primera vez hemos utilizado el software "P-SPICE v9.1 student" durante las prácticas de Fundamentos Físicos.
¿Te ha resultado útil el compatibilizar el software p-SPICE junto con el montaje de los circuitos en el laboratorio?
(1: poco útil - 5: muy útil).

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

•12 (teniendo en cuenta que es una versión gratuita de evaluación).
¿Te parece el software sencillo de utilizar? ¿Crees que es posible utilizarlo con los conocimientos adquiridos en el laboratorio?
Si tu respuesta es No, indicanos cuales han sido las dificultades.

•13 Acerca del software P-SPICE v9.1 Student.
¿Has instalado el software en tu ordenador personal?

☐ Sí ☐ No

14 Indica si has tenido algún problema en la instalación del software de P-SPICE disponible en Studium en tu ordenador personal.
(si no lo has instalado no contestes por favor)

☐ Sí ☐ No

•15 Acerca del software P-SPICE v9.1 Student.
¿Te ha servido el software instalado en tu ordenador personal para estudiar la asignatura? (por ejemplo circuitos de corriente continua o problemas de polarización de transistores).
(1: No lo he utilizado - 5: Si, lo he utilizado bastante).

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

16 Acerca del software "P-SPICE v9.1 student" ¿Has utilizado los manuales disponibles en la página de Studium? Si es así, coméntanos por favor si te han resultado útiles.

•17 Expresa por favor tu opinión general respecto a la utilización de este software en el contexto de la asignatura

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Fig. 9. Cuestionario de satisfacción de los alumnos realizado en Moodle. Opinión general de las prácticas de laboratorio del Grado en Ingeniería Informática (Fundamentos Físicos) de la Facultad de Ciencias.

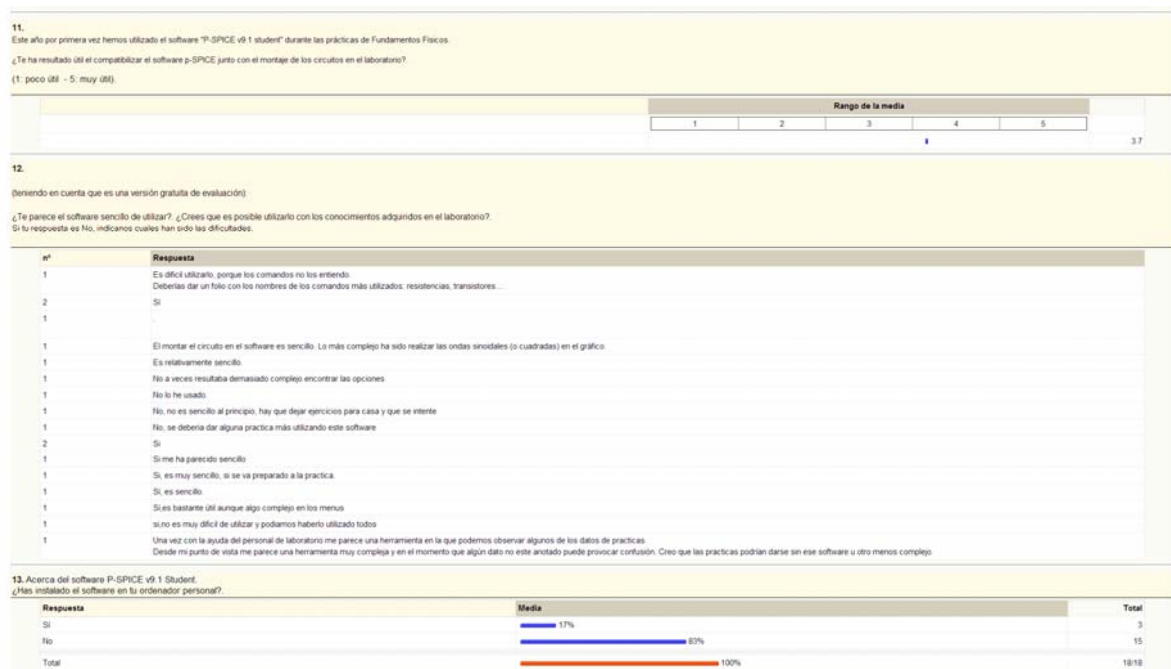


Fig. 10. Respuestas de la encuesta de satisfacción: Preguntas 11 a 13. Opinión general de las prácticas de laboratorio del Grado en Ingeniería Informática (Fundamentos Físicos) de la Facultad de Ciencias.

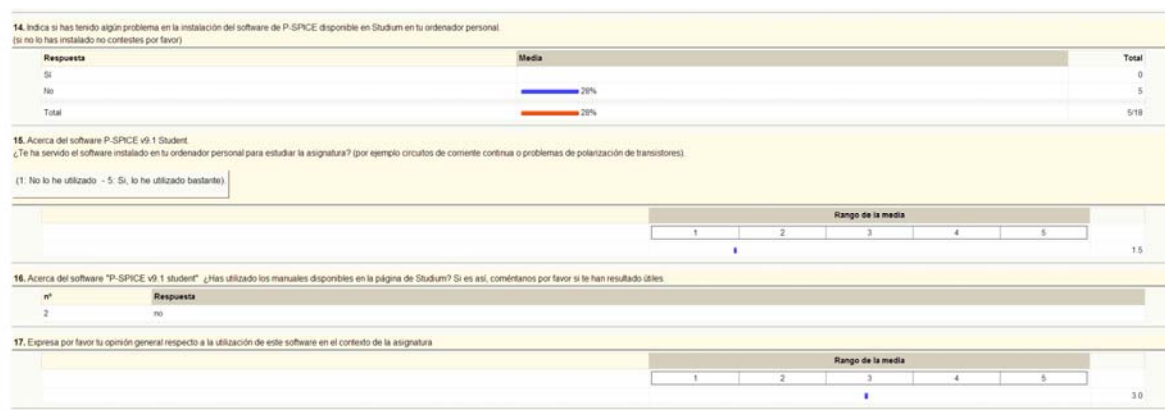


Fig. 11. Respuestas de la encuesta de satisfacción: Preguntas 14 a 17. Opinión general de las prácticas de laboratorio del Grado en Ingeniería Informática (Fundamentos Físicos) de la Facultad de Ciencias.

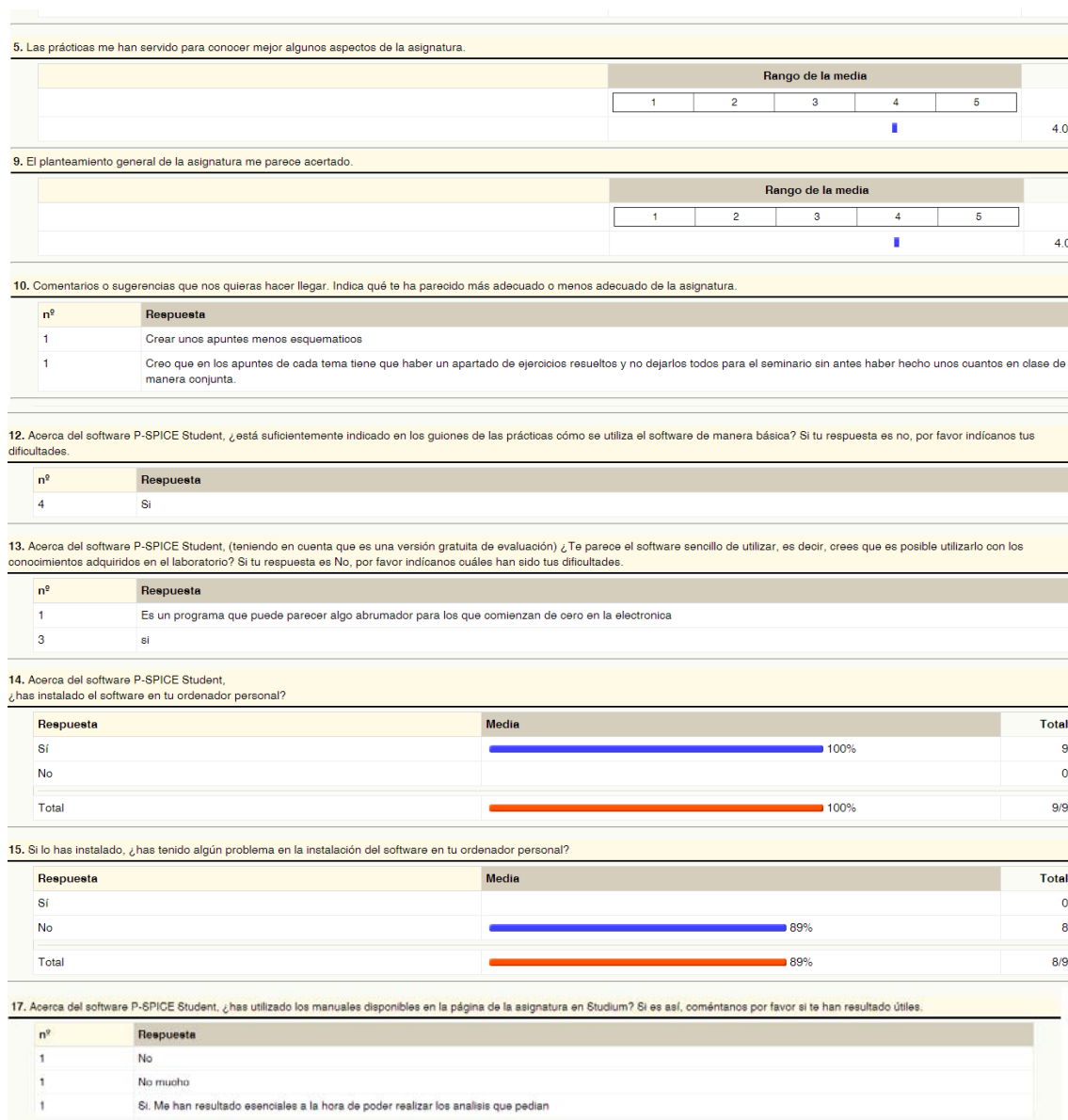


Fig. 12. Encuesta de satisfacción: Preguntas relativas al trabajo en el laboratorio y el empleo del software P-SPICE que han obtenido alguna respuesta por parte de los alumnos del Grado en Ingeniería Informática en Sistemas de Información (Física) de la Escuela Politécnica Superior de Zamora.

En el caso de la EPSZA, las preguntas relativas al proyecto que nos ocupa así como las respuestas de los alumnos han sido presentadas en la figura 12. Las preguntas han sido en todo similares a las planteadas en la asignatura de la Facultad de Ciencias, si bien sólo se incluyen aquéllas que han tenido alguna respuesta por parte de algún alumno (al ser de carácter voluntario –a petición de los propios alumnos, por, según alegaban, problemas técnicos en el envío de los tests a través de la página de la asignatura en Studium-, hubo preguntas en las que nadie quiso contestar).

3. Conclusiones

Debemos recalcar antes de nada, que únicamente 18 alumnos de 107 han contestado a la encuesta en el Grado en Ingeniería Informática de la Facultad de Ciencias. Como puede analizarse fácilmente en los resultados de las encuestas, los alumnos responden con un 3.7 en escala Likert al hecho de si les ha resultado útil compatibilizar la simulación p-SPICE con el montaje de los circuitos en el laboratorio.

Algunos alumnos indican que el uso del software no es sencillo y nos sugieren haber mandado tareas para hacer en casa o hacer alguna práctica adicional, por lo que el curso que viene probablemente añadamos una práctica adicional a comienzo del curso que les permita llevar un mayor rodaje con el simulador. El 83% han instalado el software en su ordenador personal y ninguno tuvo problema al realizar la instalación. Es importante resaltar, que aunque han utilizado el software en el laboratorio, tal y como indica la respuesta a la pregunta 15, no han utilizado toda la potencialidad del mismo para estudiar la asignatura, hecho que intentaremos mejorar también el curso que viene. Debemos resaltar que ningún alumno de los que contestan la encuesta ha mirado el manual de p-SPICE.

En el caso de los alumnos de la EPSZA, señalamos que un mayor porcentaje de los alumnos (9 sobre 21 matriculados) han contestado al test, y de ellos, sólo algunos han contestado a las preguntas relativas al uso del P-SPICE en el laboratorio. Si bien en general piensan que las prácticas de laboratorio son adecuadas para comprender mejor determinados aspectos de la asignatura, 4 de ellos (los que contestan) indican que la información que se ha dado sobre el uso del software es suficiente para superar la práctica en la que ha sido aplicado, y la mayoría piensa que es suficientemente sencillo de utilizar (hubo una respuesta negativa). Todos los alumnos que contestaron la encuesta instalaron el software en sus ordenadores sin ningún problema. Dos de ellos no usaron los manuales disponibles en la página de la asignatura, mientras que uno de ellos indica que sí, y que de hecho le han resultado esenciales para la realización del análisis de los circuitos de las prácticas. Así, podemos decir que el seminario realizado para la asimilación de los principales aspectos del p-SPICE fue muy útil para su posterior uso. En cualquier caso, durante la realización de la práctica se constató que con ayuda de dicho software algunos aspectos más difíciles de comprender fueron mejor entendidos por los alumnos en general. Cabe señalar respecto al software que varios alumnos siguieron empleándolo de manera voluntaria en la asignatura Arquitectura de Computadores I, que se imparte en el segundo cuatrimestre. En esta asignatura es necesaria la realización de diseños de circuitos digitales mediante algún programa, y como innovación, y puesto que ya se había empleado previamente, el p-SPICE estaba incluido entre los simuladores de posible uso.

Para concluir, creemos que la utilización de este simulador nos ha permitido explicar los circuitos de forma más intuitiva, otorgándole al profesor un mayor abanico de posibilidades y herramientas a la hora de presentar sus ideas y explicaciones, así como aumentar la participación y el interés del alumnado. Aunque no hemos conseguido probablemente el facilitar que el alumno pueda realizar la práctica tantas veces como necesite desde casa para mejorar su rendimiento académico, si creemos que ha sido importante para lograr una mayor implicación del alumno en el proceso de aprendizaje al tener que dibujar el esquema del circuito en el simulador, corregir errores, etc. Por otro lado, seguimos detectando una importante falta de trabajo personal en cierta parte del alumnado (que no se implican en la asignatura dado que acuden esporádicamente a clase, no se bajan de Studium guiones, etc.), lo cual es fundamental a la hora de planificar una asignatura que tiene entre un 45 % de nota centrada en la evaluación continua. Hemos detectado que parte de los alumnos no colaboran, por lo que algunas actividades programadas en este Proyecto de Innovación Docente y novedosas en el nuevo plan de

estudios no son realmente eficaces. Estas conclusiones han sido extraídas de la observación directa y de las entrevistas mantenidas con los alumnos.

4. Memoria económica

La subvención concedida para el presente proyecto de innovación (150 €) se ha empleado en su totalidad para la adquisición de componentes empleados en las clases de laboratorio. Así, se han adquirido diferentes componentes, resistencias dependientes de la luz (LDRs), antenas PMR, fototransistores opto-infrarojos, osciladores, convertidores analógico-digitales, etc. junto con otros elementos adquiridos a cargo del Departamento de Física Aplicada.

Algunas de las nuevas prácticas desarrolladas se conservarán en el laboratorio de Electrónica de la Facultad de Ciencias para su uso en demostraciones en jornadas de puertas abiertas en futuros cursos.